



19 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

12 Offenlegungsschrift  
10 DE 198 50 642 A 1

51 Int. Cl. 7:  
H 04 L 27/01

21 Aktenzeichen: 198 50 642.2  
22 Anmeldetag: 3. 11. 1998  
43 Offenlegungstag: 4. 5. 2000

DE 198 50 642 A 1

71 Anmelder:  
Siemens AG, 80333 München, DE

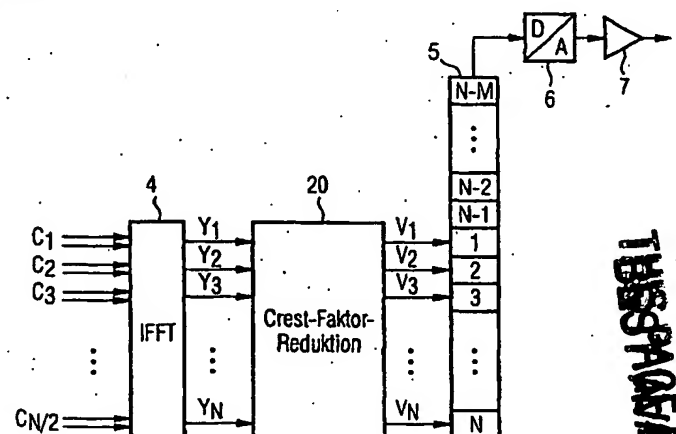
72 Erfinder:  
Schenk, Heinrich, Dr.; 81476 München, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

54 Verfahren zur Reduzierung des Crest-Faktors eines Signals

- 57 Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Reduzierung des Crest-Faktors eines Signals, wobei das Signal durch einen digitalen Signalvektor dargestellt ist, dessen Elemente Abtastwerte des Signals sind, und das durch die folgenden Schritte gekennzeichnet ist:
- a) Berechnen eines digitalen Korrekturvektors aus den Elementen des digitalen Signalvektors und
  - b) Addieren des digitalen Korrekturvektors und des digitalen Signalvektors,
  - c) Ausgeben des korrigierten digitalen Signalvektors.



BEST AVAILABLE COPY

BEST AVAILABLE COPY

DE 198 50 642 A 1

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Reduzierung des Crest-Faktors eines Signals nach dem Oberbegriff von Patentanspruch 1.

Der Crest-Faktor eines Signals gibt das Spitzen-Mittelwert-Verhältnis des Signals (PAR = Peak-to-Average Ratio) an. Ein hoher Crest-Faktor eines Signals bedingt eine aufwendigere Schaltungstechnik zur Signalverarbeitung als ein niedriger Crest-Faktor, da die Schaltungen zur Signalverarbeitung für einen großen Amplitudenbereich ausgelegt sein müssen.

Besonders Signale, die mit der Diskreten Multiton-Modulation erzeugt worden sind, weisen einen hohen Crest-Faktor auf. Die diskrete Multiton-Modulation (DMT) – auch Mehrträgermodulation – ist ein Modulationsverfahren, das sich insbesondere zur Übertragung von Daten über linear verzerrende Kanäle eignet. Anwendungsbereiche für die diskrete Multiton-Modulation sind beispielsweise der digitale Rundfunk DAB (Digital Audio Broadcast) unter der Bezeichnung OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplex) und die Übertragung von Daten über Telefonleitungen unter der Bezeichnung ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line).

Ein DMT-Übertragungssystem weist einen Kodierer auf, der die Bits eines seriellen digitalen Datensignals, das übertragen werden soll, den einzelnen Trägerfrequenzen zuteilt und einen digitalen Signalvektor erzeugt. Durch eine inverse schnelle Fouriertransformation (IFFT = Inverse Fast Fourier Transformation) wird der digitale Signalvektor in den Zeitbereich transformiert. Das durch den transformierten digitalen Signalvektor dargestellte Sendesignal weist eine Amplitudenverteilung auf, die ungefähr einer Gaußverteilung entspricht. Große Amplituden treten dabei mit derselben Wahrscheinlichkeit wie kleine Amplituden auf. Dadurch ist der Crest-Faktor (Spitzen-Mittelwert-Verhältnis eines Signals, PAR = Peak-to-Average Ratio) des Sendesignals sehr groß. Ein der inversen schnellen Fouriertransformation nachgeschalteter Digital-Analog-Umsetzer und diesem wiederum nachgeschalteter analoger Ausgangsverstärker muß deshalb für einen großen Amplitudenbereich ausgelegt sein. Um Übersteuerungen der beiden Schaltungen durch Sendesignale mit zu großen Amplituden zu vermeiden und den schaltungstechnischen Aufwand des Digital-Analog-Umsetzers und des analogen Ausgangsverstärkers möglichst klein zu halten, wird daher eine Reduzierung des Crest-Faktors des Sendesignals angestrebt.

Bekannte Verfahren verwenden zur Reduzierung des Crest-Faktors bei der Diskreten Multiton-Modulation für die Datenübertragung ungenutzte Trägerfrequenzen. Bei M. Friese, "Mehrträgermodulation mit kleinem Crest-Faktor", VDI Fortschritt-Berichte, Reihe 10, Nr. 472, Düsseldorf 1997, werden nicht benutzte Trägerfrequenzen als Redundanzstellen zur Reduzierung des Crest-Faktors verwendet. Nachteilig ist bei diesem Verfahren allerdings, daß ein relativ hoher Schaltungsaufwand zur Auswahl und Belegung der ungenutzten Trägerfrequenzen nötig ist und einem Empfänger mitgeteilt werden muß, welche Trägerfrequenzen zur Reduzierung des Crest-Faktors verwendet wurden.

Das der Erfindung zugrundeliegende technische Problem liegt daher darin, ein einfaches Verfahren zur Reduzierung des Crest-Faktors anzugeben.

Dieses Problem wird durch ein Verfahren mit den Merkmalen von Patentanspruch 1 gelöst. Vorteilhaft ausgestaltungen ergeben sich aus den jeweiligen Unteransprüchen.

Das erfindungsgemäße Verfahren zur Reduzierung des Crest-Faktors eines Signals, wobei das Signal durch einen digitalen Signalvektor dargestellt ist, dessen Elemente Abtastwerte des Signals sind, ist durch die folgenden Schritte

gekennzeichnet:

- a) Berechnen eines digitalen Korrekturvektors aus den Elementen des digitalen Signalvektors,
- b) Addieren des digitalen Korrekturvektors und des digitalen Signalvektors, und
- c) Ausgeben des korrigierten digitalen Signalvektors.

Durch dieses Verfahren werden große Amplituden des durch den digitalen Signalvektor dargestellten Signals verringert und damit der Crest-Faktor reduziert. Vorteilhafterweise ist der Aufwand für dieses Verfahren aufgrund von nur einem einfachen Korrekturschritt zur Reduzierung des Crest-Faktors gering. Das Verfahren kann auch mehrfach aufeinanderfolgend auf den jeweils korrigierten digitalen Signalvektor ausgeführt werden, wodurch sich der Crest-Faktor des Signals eventuell weiter verringern läßt. Von Vorteil ist weiterhin, daß die digitalen Korrekturvektoren direkt aus den Elementen des digitalen Signalvektors berechnet werden und keine anderen Signale benötigt werden.

Die Elemente des digitalen Korrekturvektors werden in einer besonders bevorzugten Weiterbildung des Verfahrens aus dem größten (max) Element und dem kleinsten (min) Element der Elemente des digitalen Signalvektors wie folgt berechnet:

$$\Delta y_{1k} = -0.5 \cdot (\max(y_k) + \min(y_k)) \text{ mit } k = 1, 2, \dots, N$$

Vorteilhafterweise wird dabei durch den digitalen Korrekturvektor ein Signal dargestellt, dessen Frequenzspektrum bei 0 Hz liegt und das Frequenzspektrum des durch den digitalen Signalvektor dargestellten Signals kaum beeinflusst.

Die Elemente des digitalen Korrekturvektors können alternativ in einer besonders bevorzugten Weiterbildung des Verfahrens aus dem größten (max) Element und dem kleinsten (min) Element der Elemente des digitalen Signalvektors auch wie folgt berechnet werden:

$$\Delta y_{2k} = (-1)^k \cdot (-0.5) \cdot (\max((-1)^k \cdot y_k) + \min((-1)^k \cdot y_k)) \text{ mit } k = 1, 2, \dots, N$$

Vorteilhafterweise wird dabei durch den digitalen Korrekturvektor ein Signal dargestellt, dessen Frequenzspektrum bei der halben Abtastfrequenz des Sendesignals liegt und das Frequenzspektrum des durch den digitalen Signalvektor dargestellten Signals kaum beeinflusst.

In einer bevorzugten Ausführungsform des Verfahrens wird der korrigierte digitale Signalvektor um M Elemente erweitert, wobei die M Elemente des korrigierten digitalen Signalvektors sind. Durch diese Maßnahme – auch Cyclic-Prefix genannt – wird vorteilhafterweise einem Empfänger eine Entzerrung des Signals erleichtert.

In einer besonders bevorzugten Ausführungsform des Verfahrens wird die Addition des digitalen Korrekturvektors und des digitalen Signalvektors nur durchgeführt, wenn mindestens eines der Elemente des digitalen Signalvektors einen vorgebbaren Schwellwert überschreitet. Vorteilhafterweise verringert sich dadurch noch einmal der Aufwand des Verfahrens, da nicht mehr jeder digitale Signalvektor aus einer Folge von digitalen Signalvektoren korrigiert wird.

In einer besonders bevorzugten Ausführungsform des Verfahrens wird die Addition des digitalen Korrekturvektors und des digitalen Signalvektors nur durchgeführt, wenn mindestens eines der Elemente des digitalen Signalvektors einen vorgebbaren Schwellwert unterschreitet.

Bevorzugt wird das durch den digitalen Signalvektor dargestellte Signal mit einem Mehrträger-Verfahren (Multicarrier Modulation System) erzeugt. Besonders bevorzugt wird

dabei als Mehrträger-Verfahren die Diskrete-Multiton-Modulation. Grundsätzlich läßt sich das Verfahren aber auf jedes Mehrträger-Verfahren anwenden.

Weitere Vorteile, Merkmale und Anwendungsmöglichkeiten der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung von Ausführungsbeispielen in Verbindung mit der Zeichnung. In der Zeichnung zeigt

Fig. 1 ein Blockschaltbild eines DMT-Übertragungssystems,

Fig. 2 ein Diagramm mit der Amplitudenhäufigkeitsverteilung eines mit der diskreten Multiton-Modulation modulierten Sendesignales,

Fig. 3 ein Blockschaltbild eines DMT-Senders mit einer Vorrichtung zur Reduzierung des Crest-Faktors nach der Erfindung,

Fig. 4 zwei Diagramme mit der spektralen Leistungsdichte nach einer Reduzierung des Crest-Faktors mit dem erfindungsgemäßen Verfahren, und

Fig. 5 zwei Diagramme mit der spektralen Leistungsdichte nach einer Reduzierung des Crest-Faktors mit einer Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens.

Fig. 1 zeigt das Blockschaltbild eines DMT-Übertragungssystems.

Eine Datenquelle 1 sendet digitale Daten seriell an einen ersten Seriell-/Parallel-Wandler 2, der die seriellen digitalen Daten in Datenblöcke mit jeweils  $N/2$  Teilblöcken verpackt.

Ein Datenblock wird parallel an einen Kodierer 3 übertragen, der jeden der  $N/2$  Teilblöcke des Datenblocks auf jeweils eine Trägerfrequenz der zur Datenübertragung zur Verfügung stehenden  $N/2$  Trägerfrequenzen verteilt und dafür einen ersten digitalen Signalvektor mit  $N/2$  Elementen  $c_1, c_2, \dots, c_{N/2}$  erzeugt.

Durch einen ersten Fouriertransformator 4, der durch eine inverse schnelle Fouriertransformation aus dem ersten digitalen Signalvektor mit  $N/2$  Elementen einen zweiten digitalen Signalvektor  $y_1, y_2, \dots, y_N$  mit  $N$  Elementen (entsprechend  $N$  Abtastwerten) berechnet, wird das durch den ersten digitalen Signalvektor dargestellte Sendesignal vom Frequenz- in den Zeitbereich transformiert. Die  $N$  Elemente des zweiten digitalen Signalvektors  $y_1, y_2, \dots, y_N$  entsprechen dabei  $N$  Abtastwerten des Sendesignals. Dabei weist das durch die  $N$  Elemente des zweiten digitalen Signalvektors  $y_1, y_2, \dots, y_N$  dargestellte Sendesignal einen hohen Crest-Faktor auf.

Der zweite digitale Signalvektor wird in einen Parallel-/Seriell-Wandler 5 übertragen, der die  $N$  Elemente des zweiten digitalen Signalvektors um  $M$  ( $M < N$ ) Elemente des zweiten digitalen Signalvektors nochmals zu einem dritten digitalen Signalvektor  $y_{N-M}, \dots, y_{N-2}, y_{N-1}, y_1, y_2, y_3, \dots, y_N$  erweitert. Dadurch weist der digitale Signalvektor  $N+M$  Elemente auf. Diese Maßnahme wird mit Cyclic-Prefix bezeichnet.

Die  $N+M$  Elemente des dritten digitalen Signalvektors werden seriell einem Digital-Analog-Umsetzer 6 zugeführt, dessen analoges Ausgangssignal von einem Sendeverstärker 7 zur Übertragung über einen Übertragungskanal 8 verstärkt wird. Am Ausgang des Sendeverstärkers 7 liegt das Übertragungssignal an.

Der Übertragungskanal 8 verzerrt das Übertragungssignal linear. Am Ende des Übertragungskanals 8 wird dem Übertragungssignal durch Addition 9 ein Rauschanteil 10 überlagert. Rauschen kann dabei an vielen Stellen, wie beispielsweise im Übertragungskanal 8 durch Über- oder Nebensprechen, im Sendeverstärker 7 oder im Digital-Analog-Umsetzer 6 entstehen.

Das Übertragungssignal wird von einem Entzerrer 11 empfangen, entzerrt und einem Analog-Digital-Umsetzer 12 zugeführt.

Das serielle digitale Ausgangssignal des Analog-Digital-Umsetzers 12 wird einem zweiten Seriell-/Parallel-Wandler 13 zugeführt, der aus dem seriellen digitalen Signal einen vierten digitalen Signalvektor  $x_1, x_2, \dots, x_N$  mit  $N$  Elementen erzeugt.

Dieser vierte digitale Signalvektor wird in einem zweiten Fouriertransformator 14, der eine schnelle Fouriertransformation berechnet, vom Zeit- in den Frequenzbereich transformiert. Am Ausgang des zweiten Fouriertransformators 14 liegt dann ein fünfter digitaler Signalvektor  $d_1, d_2, \dots, d_{N/2}$  mit  $N/2$  Elementen an. Dadurch wird das durch den digitalen Signalvektor dargestellte Empfangssignal auf die verschiedenen Trägerfrequenzen der DMT abgebildet.

Eine Empfangsstufe 15 kann die digitalen Daten aus der Amplitude und Phase der Trägerfrequenz berechnen und die digitalen Daten einer Datensenke 16 zuführen.

Fig. 2 zeigt ein Diagramm mit der Amplitudenhäufigkeitsverteilung eines mit der diskreten Multiton-Modulation modulierten Sendesignales. Dabei sind die verschiedenen Amplitudenwerte gaußverteilt. Der Crest-Faktor eines mit DMT modulierten Sendesignales ist sehr hoch, da aufgrund der Gauß-Verteilung der Amplitudenwerte auch einzelne sehr hohe Amplitudenwerte mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit auftreten. Um den schaltungstechnischen Aufwand des Digital-Analog-Umsetzers 6 und des Sendeverstärkers 7 möglichst niedrig zu halten, wird eine Reduzierung des Crest-Faktors angestrebt.

Fig. 3 zeigt ein Blockschaltbild eines DMT-Senders mit einer Vorrichtung zur Reduzierung des Crest-Faktors nach der Erfindung. Elemente, die mit Elementen des in Fig. 1 dargestellten Blockschaltbildes identisch sind, sind mit denselben Bezugszeichen wie in Fig. 1 versehen.

Der Fouriertransformator 4 empfängt den ersten digitalen Signalvektor  $c_1, c_2, \dots, c_{N/2}$  mit  $N/2$  Elementen und berechnet daraus den zweiten digitalen Signalvektor  $y_1, y_2, \dots, y_N$  mit  $N$  Elementen. Die in dem ersten digitalen Signalvektor  $c_1, c_2, \dots, c_{N/2}$  enthaltene Information ist somit eine Frequenzbereichsinformation, die durch die inverse schnelle Fouriertransformation in den Zeitbereich umgesetzt wird.

Um den Crest-Faktor des durch den zweiten digitalen Signalvektor dargestellten Sendesignals zu reduzieren wird der zweite digitale Signalvektor  $y_1, y_2, \dots, y_N$  einer Crest-Faktor-Reduktion 20 zugeführt. In der Crest-Faktor-Reduktion 20 wird zu dem zweiten digitalen Signalvektor  $y_1, y_2, \dots, y_N$  ein erster Korrekturvektor  $\Delta y_1$  und darauffolgend ein zweiter Korrekturvektor  $\Delta y_2$  addiert. Jeder der beiden Korrekturvektoren  $\Delta y_1$  und  $\Delta y_2$  stellt ein Signal dar, das zu dem durch den zweiten digitalen Signalvektor dargestellten Sendesignal addiert wird. Die dadurch eingeführten zusätzlichen Spektralanteile liegen jeweils bei 0 Hz (0-te Spektrallinie) bzw. der halben Abtastfrequenz des Sendesignals ( $N/2$ -Spektrallinie) und damit außerhalb des von dem Sendesignal genutzten Spektrums. Die Reihenfolge der Addition der beiden Korrekturvektoren kann vertauscht werden, wodurch die Größe der durch die Korrekturvektoren eingeführten zusätzlichen Spektralanteile beeinflusst wird.

Die  $N$  Elemente  $\Delta y_{1k}$  des ersten Korrekturvektors  $\Delta y_1$  und die  $N$  Elemente  $\Delta y_{2k}$  des zweiten Korrekturvektors  $\Delta y_2$  berechnen sich aus dem kleinsten und größten Element der  $N$  Elemente des zweiten digitalen Signalvektors  $y_1, y_2, \dots, y_N$  bzw. des mit  $(-1)^k$  gewichteten zweiten digitalen Signalvektors  $y_1, y_2, \dots, y_N$ :

$$\begin{aligned} \Delta y_{1k} &= 0.5 \cdot (\max(y_k) + \min(y_k)) \text{ mit } k = 1, 2, \dots, N \\ \Delta y_{2k} &= -0.5 \cdot (-1)^k \cdot (\max((-1)^k \cdot y_k) + \min((-1)^k \cdot y_k)) \text{ mit } k = 1, 2, \dots, N \end{aligned}$$

Der erste Korrekturvektor  $\Delta y_1$  weist gleiche Elemente auf

und stellt dadurch das Signal mit einem Spektralanteil bei 0 Hz dar. Der zweite Korrekturvektor  $\Delta y_2$  weist betragsmäßig gleiche Elemente mit abwechselnden Vorzeichen auf und stellt das Signal mit einem Spektralanteil bei der halben Abtastfrequenz dar.

Das folgende Rechenbeispiel verdeutlicht die Berechnung eines korrigierten zweiten digitalen Signalvektors  $y_1, y_2, \dots, y_N$  in der Crest-Faktor-Reduktion:

1. Der zweite digitale Signalvektor  $y_1, y_2, \dots, y_8$  weist acht Elemente auf ( $N = 8$ ):

$$\begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \\ y_4 \\ y_5 \\ y_6 \\ y_7 \\ y_8 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2 \\ 5 \\ 7 \\ 8 \\ 1 \\ 12 \\ 0 \\ 2 \end{pmatrix}$$

2. Das kleinste Element ist  $y_7$  und das größte Element ist  $y_6$ . Damit berechnen sich die acht gleichen Elemente  $\Delta y_k$  des ersten Korrekturvektors  $\Delta y_1$  aus dem kleinsten  $y_7$  und größten  $y_6$  Element wie folgt:

$$\Delta y_{1k} = -0.5 \cdot (y_6 + y_7) = -0.5 \cdot (12 + 0) = -6$$

Der erste Korrekturvektor  $\Delta y_1$  lautet damit:

$$\Delta y_1 = -6 \cdot \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix}$$

Das durch den ersten Korrekturvektor dargestellte Signal ist ein Gleichsignal und weist im Frequenzspektrum eine Spektrallinie bei 0 Hz auf.

3. Durch Addition des ersten Korrekturvektors  $\Delta y_1$  zu dem zweiten digitalen Signalvektor  $y_1, y_2, \dots, y_8$  ergibt sich ein erster korrigierter zweiter digitaler Signalvektor  $y'_1, y'_2, y'_3, y'_4, y'_5, y'_6, y'_7, y'_8$ :

$$\begin{pmatrix} y'_1 \\ y'_2 \\ y'_3 \\ y'_4 \\ y'_5 \\ y'_6 \\ y'_7 \\ y'_8 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -4 \\ -1 \\ 1 \\ 2 \\ -5 \\ 6 \\ -6 \\ -4 \end{pmatrix}$$

Der erste korrigierte zweite digitale Signalvektor  $y'_1, y'_2, y'_3, y'_4, y'_5, y'_6, y'_7, y'_8$  weist nun ein betragsmäßig gleich großes Element  $y'_6$  und  $y'_7$  auf. Ferner ist der Spitzenwert des ersten korrigierten zweiten digitalen Signalvektors von 12 vor der Crest-Faktor-Reduktion auf 6 nach der Crest-Faktor-Reduktion reduziert worden. Das durch den ersten korrigierten zweiten digitalen Signalvektor  $y'_1, y'_2, y'_3, y'_4, y'_5, y'_6, y'_7, y'_8$  dargestellte Signal weist nun im Frequenzspektrum bei 0 Hz zusätzlich Anteile auf, die durch das Signal, das durch den ersten Korrekturvektor dargestellt wird, hinzuaddiert wurden.

Durch die Crest-Faktor-Reduktion wurde der Crest-Faktor so reduziert, daß nachfolgende Schaltungen wie beispielsweise Verstärker oder Analog-Digital-Umsetzer einen kleineren Aussteuerbereich benötigen und in der Schaltungstechnik einfacher ausgelegt werden können.

Die nun folgenden weiteren Schritte zur Crest-Faktor-Reduktion bringen nicht in jedem Fall eine weitere Verbesserung.

4. Die acht Elemente  $\Delta y_{2k}$  des zweiten Korrekturvektors  $\Delta y_2$  berechnen sich aus dem größten und kleinsten Element der mit  $(-1)^k$  gewichteten Elemente  $y'_1, y'_2, \dots, y'_8$  des zweiten digitalen Signalvektors wie folgt:

$$\Delta y_{2k} = (-1)^k \cdot (-0.5) \cdot ((-1)^6 \cdot y'_6 + (-1)^8 \cdot y'_8) = (-1)^k \cdot (-0.5) \cdot (6 - 4) \cdot (-1)^k \cdot (-1)$$

Der zweite Korrekturvektor  $\Delta y_2$  lautet damit:

$$\Delta y_2 = -1 \cdot \begin{pmatrix} -1 \\ 1 \\ -1 \\ 1 \\ -1 \\ 1 \\ -1 \\ 1 \end{pmatrix}$$

Das durch den zweiten Korrekturvektor dargestellte Signal ist ein periodisches Signal, das eine Spektrallinie bei der halben Abtastfrequenz des Sendesignals aufweist.

5. Durch Addition des zweiten Korrekturvektors  $\Delta y_2$  zu dem ersten korrigierten zweiten digitalen Signalvektor  $y'_1, y'_2, \dots, y'_8$  ergibt sich ein zweifach korrigierter zweiter digitaler Signalvektor  $v_1, v_2, \dots, v_8$ :

$$\begin{pmatrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \\ v_4 \\ v_5 \\ v_6 \\ v_7 \\ v_8 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -3 \\ -2 \\ 2 \\ 1 \\ -4 \\ 5 \\ -5 \\ -5 \end{pmatrix}$$

Gegenüber dem zweiten digitalen Signalvektor  $y_1, y_2, \dots, y_8$ , der einen Spitzenwert von 12 vor der Crest-Faktor-Reduktion aufweist, weist der zweifach korrigierte zweite digitale Signalvektor  $v_1, v_2, \dots, v_8$  betragsmäßig einen Spitzenwert von 5 auf. Gegenüber dem ersten korrigierten zweiten digitalen Signalvektors  $y'_1, y'_2, \dots, y'_8$  hat sich der Spitzenwert betragsmäßig nochmal um 1 verkleinert.

Insgesamt wurde durch die Crest-Faktor-Reduktion der betragsmäßige Spitzenwert des zweiten digitalen Signalvektors  $y_1, y_2, \dots, y_8$  verringert. Dadurch kann der Aussteuerbereich des nachfolgenden Digital-Analog-Wandlers 6 geringer als vor einer Crest-Faktor-Reduktion ausfallen.

Die zwei in Fig. 4 dargestellten Diagramme mit der spektralen Leistungsdichte nach einer Reduzierung des Crest-Faktors mit dem erfindungsgemäßen Verfahren zeigen, daß durch den ersten und zweiten Korrekturvektor im Frequenzspektrum zusätzlich zu den von der DMT erzeugten Spektrum Frequenzbänder bei 0 Hz bzw. der halben Abtastfrequenz ( $N/2$ -Spektrallinie) erzeugt werden.

In einer Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens ist es nicht notwendig, jeden Block nach der inversen schnellen Fouriertransformation zu korrigieren. Eine Korrektur kann in Abhängigkeit von Schwellwerten, die von einzelnen Werten eines Blockes über- bzw. unterschritten werden, durchgeführt werden. Dadurch werden die durch eine Korrektur zusätzlich erzeugten Frequenzbänder verringert. Die zwei in Fig. 5 dargestellten Diagramme mit der spektralen Leistungsdichte nach einer Reduzierung des Crest-Faktors mit obiger Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens zeigen, daß die Leistung der durch die Korrektur erzeugten Frequenzbänder deutlich niedriger ist als bei einer Korrektur jedes Blocks.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zur Reduzierung des Crest-Faktors eines Signals, wobei das Signal im Zeitbereich durch einen digitalen Signalvektor  $(y_1, y_2, \dots, y_N)$  dargestellt ist, dessen Elemente Abtastwerte des Signals sind, gekennzeichnet durch die folgenden Schritte:

- Berechnen eines digitalen Korrekturvektors aus den Elementen des digitalen Signalvektors  $(y_1, y_2, \dots, y_N)$ ,
- Addieren des digitalen Korrekturvektors und des digitalen Signalvektors  $(y_1, y_2, \dots, y_N)$ , und
- Ausgeben des korrigierten digitalen Signalvektors  $(v_1, v_2, \dots, v_N)$ .

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Elemente  $\Delta y_{1k}$  des digitalen Korrekturvektors  $\Delta y_1$  aus dem größten (max) Element und dem kleinsten (min) Element der Elemente  $y_k$  des digitalen Signalvektors  $(y_1, y_2, \dots, y_N)$  wie folgt berechnet werden:

$$\Delta y_{1k} = -0.5 \cdot (\max(y_k) + \min(y_k)) \text{ mit } k = 1, 2, \dots, N$$

3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Elemente  $\Delta y_{2k}$  des digitalen Korrekturvektors  $\Delta y_2$  aus dem größten (max) Element und dem kleinsten (min) Element der Elemente  $y_k$  des digitalen Signalvektors  $(y_1, y_2, \dots, y_N)$  wie folgt berechnet werden:

$$\Delta y_{2k} = (-1)^k \cdot (-0.5) \cdot (\max((-1)^k \cdot y_k) + \min((-1)^k \cdot y_k)) \text{ mit } k = 1, 2, \dots, N$$

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der korrigierte digitale Signalvektor um M Elemente erweitert wird, wobei die M Elemente Elemente des korrigierten digitalen Signalvektors sind.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Addition des digitalen Korrekturvektors und des digitalen Signalvektors  $(y_1, y_2, \dots, y_N)$  nur durchgeführt wird, wenn mindestens eines der Elemente  $y_k$  des digitalen Signalvektors  $(y_1, y_2, \dots, y_N)$  einen vorgebbaren Schwellwert überschreitet.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Addition des digitalen Korrekturvektors und des digitalen Signalvektors  $(y_1, y_2, \dots, y_N)$  nur durchgeführt wird, wenn mindestens eines der Elemente  $y_k$  des digitalen Signalvektors  $(y_1, y_2, \dots, y_N)$  einen vorgebbaren Schwellwert unterschreitet.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das durch den digitalen Signalvektor  $(y_1, y_2, \dots, y_N)$  dargestellte Signal mit einem Mehrträger-Verfahren erzeugt wird.

8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß das durch den digitalen Signalvektor  $(y_1, y_2, \dots, y_N)$  dargestellte Signal mit der Diskreten-Multiton-Modulation erzeugt wird.

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

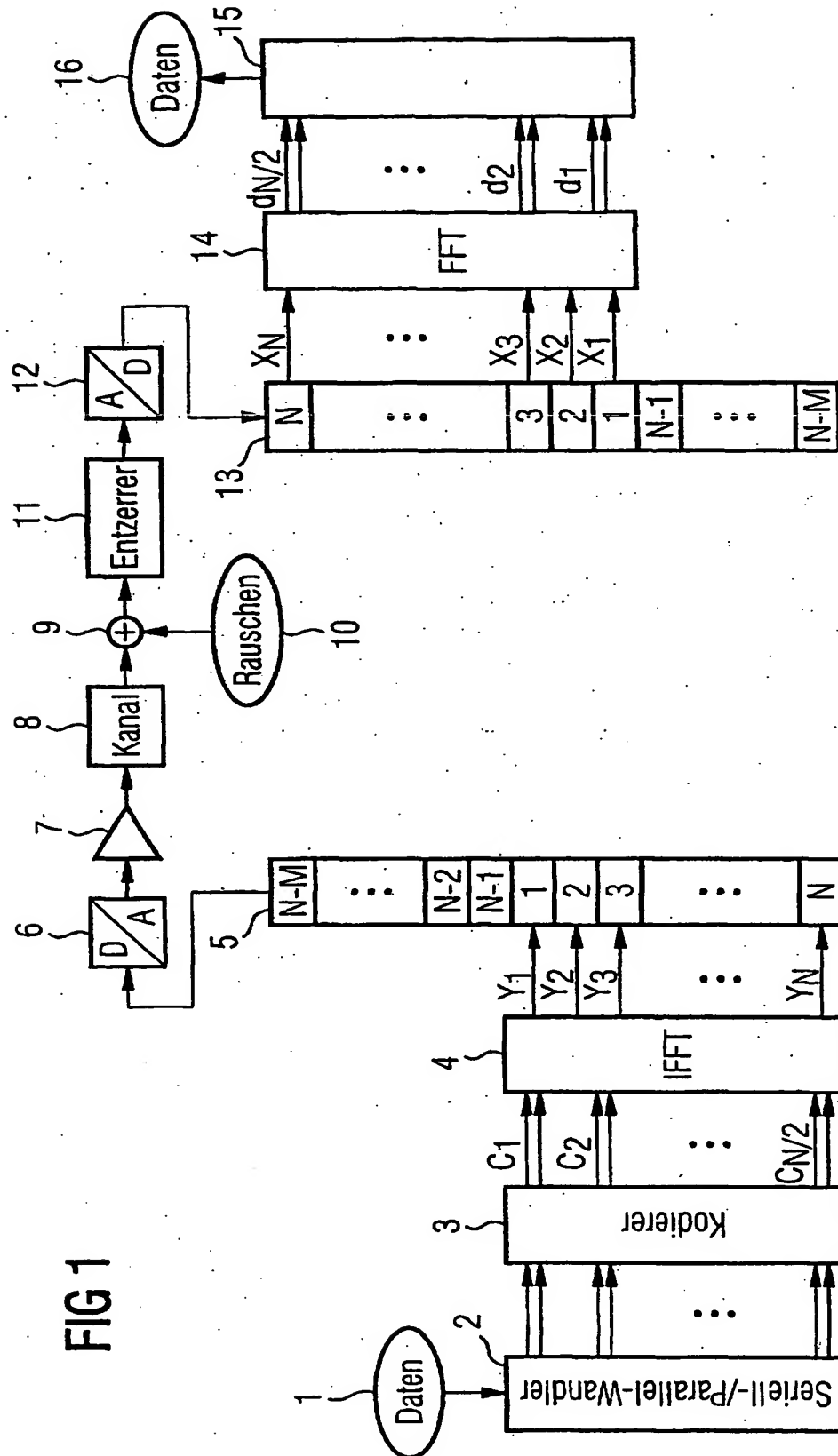


FIG 2

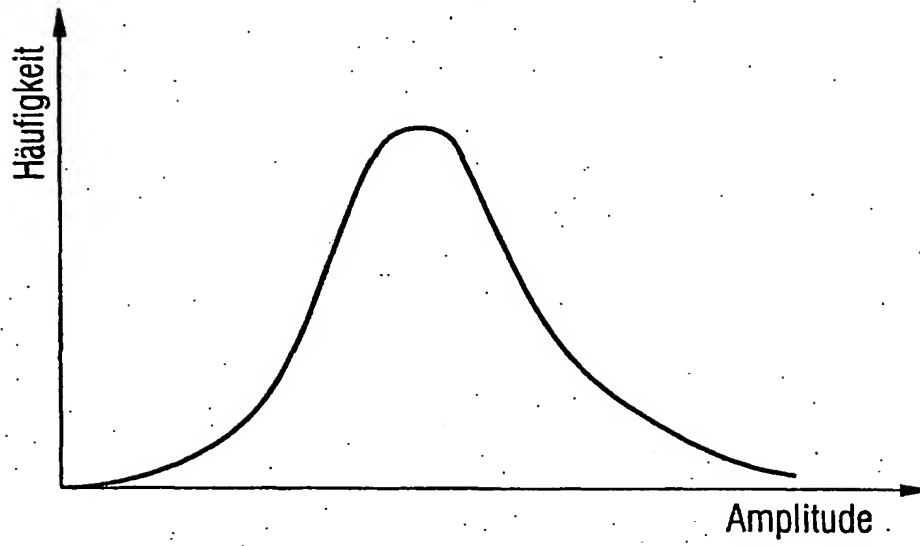
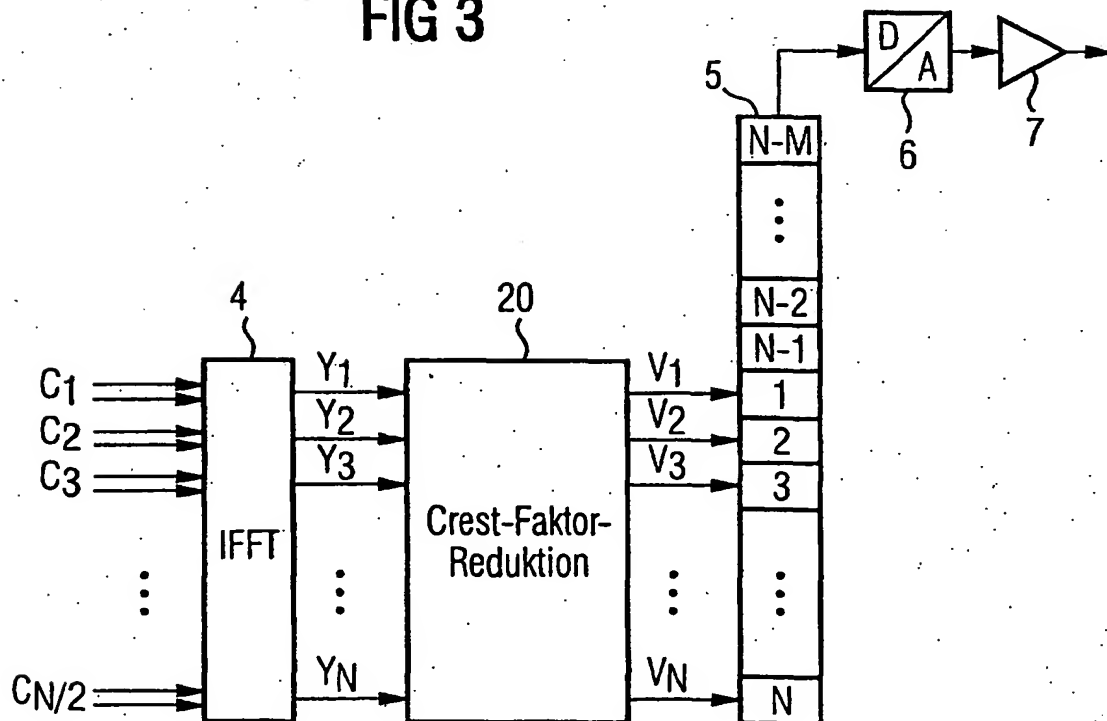


FIG 3



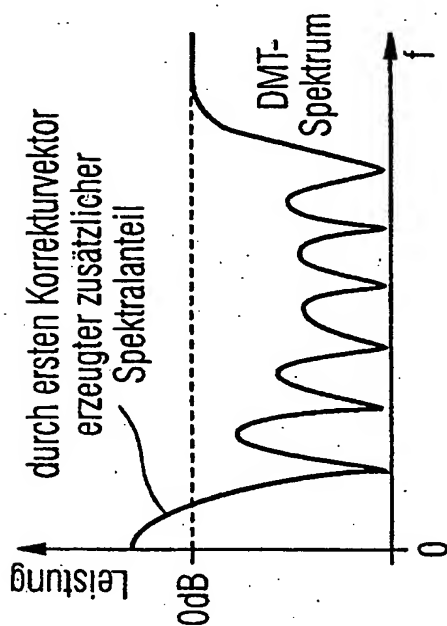
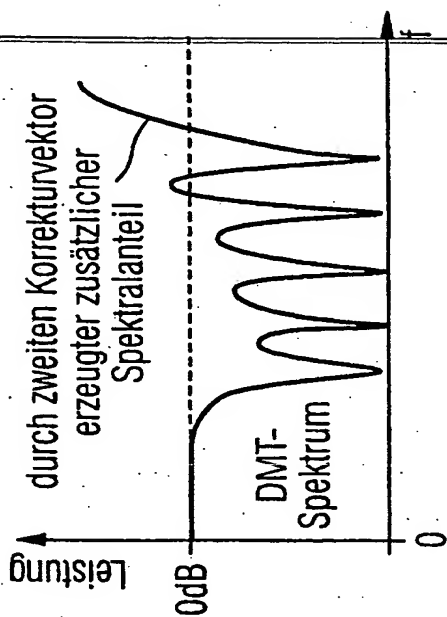


FIG 4

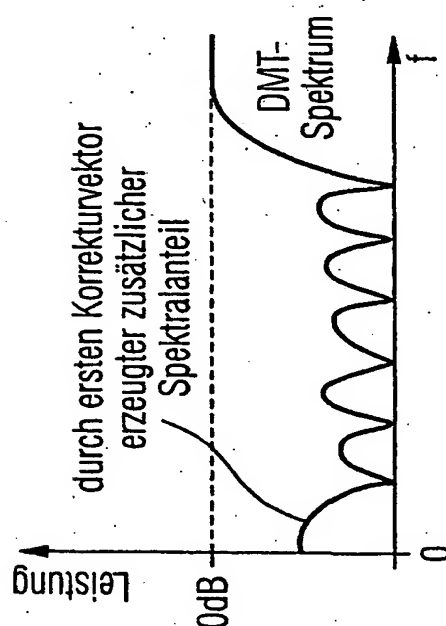
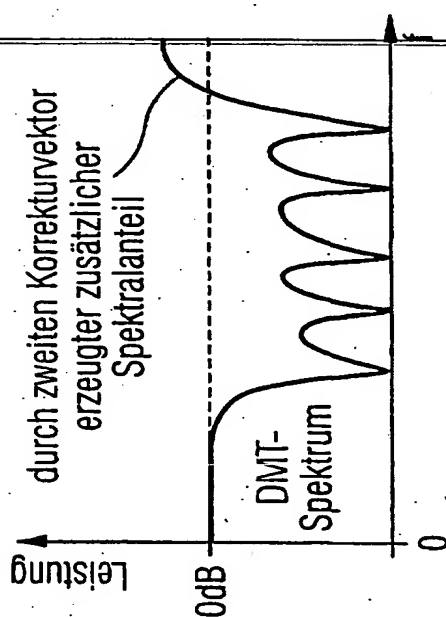


FIG 5



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☒ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☒ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☒ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☒ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**